Journal Homepage E-ISSN: XXX-XXX
https://jurnal.sekawansiji.org/index.php/jef/index
JEF: Juornal Electric Field
Vol. 1 No. 1 2024
HAL: 1-9
CV. SEKAWAN SIJI DOI: http://dx.doi.org/XXX/

Cascade Greinacher : Desain dan Simulasi Penaik Tegangan *Output* DC Menggunakan Modifikasi Rangkaian *Cascade*

Agung Fitrahadi[1], Adi Mulyadi[2], Mas Ahmad Baihaqi[3]**

[1] Program Studi Akuntansi Syariah, Fakultas Syariah dan Ekonomi Islam, IAIN SAS Bangka Belitung, 33173, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

[2] Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi, 68416, Jawa Timur, Indonesia

[3] Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Panca Marga, 67216, Jawa Timur, Indonesia

[1] fitrahadiagung_elektro_ttl@yahoo.com ,[2**]adimulyadi@unibabwi.ac.id,[3] baihaqi@upm.ac.id

Corresponding Author: [**]adimulyadi@unibabwi.ac.id

ABSTRACT

This paper discusses the design and simulation of the Cascade Greinacher circuit to increase the dc output voltage and current. The voltage increasing circuit using the Cockroft-Walton method has a large output voltage ripple and voltage drop. Meanwhile, half wave and full wave rectifier circuits are only capable of producing a DC output voltage and do not reach the maximum voltage value. In addition, the load resistance at each input power saturation is different and high frequencies require the addition of a capacitor circuit. Therefore, the Greinacher Doubler Circuit (GDC) rectifier is proposed with a modified diode and capacitor series arranged in nine levels in parallel. The circuit modification is used as a DC output voltage rectifier to reduce output voltage ripple. Then the circuit modification was tested by simulating the PSIM software and varying input voltages. Simulation testing uses a 220 volts voltage source, 50 Hz frequency, and component specifications for a single-phase step-down transformer 220 to 12 volts, 8 diodes (DXN, DN/DXN1, DN1/DXN2, DN2/DXN3, DN3), 8 capacitors with 4700Uf value (CXN, CN/CXN1, CN1/CXN2, CN2/CXN3, CN2), and 100 Ω resistor. simulation results which produce a voltage greater than 3 times the input voltage, namely 35.7 V and a current of 0.98 A. Even though at times 0.001 seconds and 0.0035 seconds and 0.0054 seconds the output voltage and current are constant at 4.9 volts respectively, the current is 0.03 A, current 0.08 A and current 0.013 A. The output voltage Vout, Vs and current continue to increase when it reaches 1 second.

Keywords: *Design and Simulation, DC Output Voltage and Current, Greinacher Cascade Circuit*

1. PENDAHULUAN

Penaik tegangan output digunakan dalam aplikasi komponen elektronika daya seperti sistem pencahayaan, smart phone dan peralatan medis [1]. Penaik tegangan memiliki efisiensi tinggi dan kemampuan pengaturan yang kuat [2]. Penaik tegangan diterapkan pada panel surya dengan integrasi mikrokontroler serta Quadratic Boost Converter [3]. Panel surya mempunyai tegangan output yang bervariasi [4], sehingga memerlukan konversi penyetabil tegangan [5]. Namun, penaik tegangan memiliki permasalahan dalam pengoperasian, biaya besar dan tidak praktis [6]. Beberapa penelitian mengusulkan penaik tegangan dengan multilevel tegangan sumber inverter seperti Neutral Point Clamped (NPC), Cascade H-bridge

(CHB) dan Flying Capacitors (FCs). Multilevel tegangan sumber inverter mencapai tegangan output lebih tinggi dan level daya (13,8 kV, 30 MVA) [7]. Converter dioda cascade pasif AC/DC dan capacitor digunakan untuk memperbaiki input tegangan AC serta menaikkan tegangan output DC. Namun kemampuan penyimpanan energi dan daya sebesar 100 µW [8]. Rangkaian cascade menggunakan JFET untuk menghasilkan tegangan output dengan impedansi input yang besar. Rangkaian konfigurasi menggunakan sembilan CS-CS, CS-CD, CS-CG, CD-CS, CD-CD, CD-CG, CG-CS, CG-CD dan CG-CG. Hasil penguat tegangan output cascade CS-CS mendapatkan tegangan lebih besar 348 mV-2688 mV dibandingkan rangkaian cascade lainnya [9]. Metode cascade untuk rangkaian ladder diagram PLC diterapkan. Rangkaian cascade ladder untuk menghasilkan ladder yang lebih efisien [10].

Rangkaian penyearah radio frequency (RF) diterapkan untuk menghasilkan tegangan output DC. Rangkaian menggunakan model Dickson dengan mengurangi faktor ripple yang rendah. Hasil pengujian diperoleh tegangan output DC sebesar 3,7 volt, frekuensi 825-960 MHz, PCE 12-33% dan faktor ripple ± 0,01% [11]. Rangkaian konversi RF-DC menggunakan metode rangkaian Greinacher Voltage Doubler, kemudian disimulasikan pada software ADS sampai rangkaian 9 tingkat. Hasil simulasi pada 0 dBm menghasilkan tegangan output 1,8 V, arus output 0,1814 mA, 10 dBm tegangan output 7,77 V, arus output 1 mA, dan 20 dBm tegangan output 17,88 V, arus output 2 mA [12]. Rangkaian penyearah RF dirancang untuk aplikasi penyimpanan energi pada antena. Antena memiliki frekuensi yang lebar, sehingga rangkaian Greinacer Voltage Doubler diusulkan sebagai menyimpan energi dalam jumlah besar dan efisien. Hasil menunjukkan bahwa konversi RF to DC lebih efisien dan digunakan pada area sumber sinyal RF yang lebih dekat [13]. Konfigurasi rangkaian penyearah dengan diode seri setengah gelombang dan penyearah voltage doubler untuk pengoperasian sistem transmisi daya microwave. Rangkaian penyearah diode seri setengah gelombang dapat mengkonversi secara efisien 40,17% dengan beban resistansi 220 Ω, dimana voltage doubler 70,06% dengan beban 330 Ω [14]. Penyearah Multi-Pulse Diode (MPDRs) dianalisis berdasarkan kualitas tegangan dan arus input/output. Rangkaian MPDRs diinvestigasi secara seri dan paralel pada sistem pesawat. Hasil analisis diperoleh frekuensi 400 Hz dan sistem jaringan listrik sebesar 60 Hz. Dampak level tegangan dan frekuensi menunjukkan keunggulan dan kerungian [15]. Level tegangan jaringan listrik dianalisis menggunakan penyearah cascade untuk mengurangi harmonisa. Jaringan listrik dan penyearah cascade memiliki biaya tinggi, sehingga multilevel penyearah dengan control PWM diusulkan. Hal ini digunakan untuk menghasilkan arus awal sinusoidal dalam mengurangi cacat gelombang dan meningkatkan jumlah level tegangan [16].

Penyearah setengah siklus gelombang dan penyearah jembatan setengah siklus gelombang penuh disimulasikan. Simulasi menerapkan beban aktif, capasitor, IC LM317 dan tegangan input diatur 40 volt. Hasil tegangan output mencapai 1,2 hingga 37 volt [17]. Hybrid topologi tegangan multiplier antara Cockroft-Walton memberikan drop tegangan output di bawah beban. Hal ini disebabkan oleh kapasitor dihubungkan seri, sedangkan pengisian Dickson dihubungkan kapasitor dihubungkan paralel. Hasil hybrid topologi tegangan multiplier Cockroft-Walton menghasilkan konversi dc-dc 60 volt-2,25 kV berdasarkan 16 tingkat.

Namun penguat tegangan 12.8 V dengan menjaga tegangan kapasitor paling tinggi 600 volt [18]. Multiplier Cockcroft-Walton diaplikasikan pada RF untuk penyimpanan energi elektromagnetik. Tegangan output multiplier DC 350 mV dengan input tegangan AC 140 mV [19]. Modifikasi desain multiplier Cockroft-Walton menghasilkan tegangan output DC dengan periode waktu yang pendek. Modifikasi desain pertama menggunakan positive full wave rectifier (FWR) dan positive voltage multiplier block (VMB). Modifikasi desain kedua positive/negative half wave rectifier (HWRs) dan modifikasi terakhir switched-capacitor AC-AC converter. Hasil modifikasi desain multiplier menghasilkan simulasi dan pengujian pada multiplier tegangan tinggi (HVMs) yang baik [20]. Multiplier tegangan Cockcroft-Walton dirancang pada generator tegangan tinggi DC. Kemudian multiplier tegangan DC disimulasikan pada medan listrik sebelum serangan petir mendekati dengan ground. Pengaplikasian tegangan tinggi DC menghasilkan medan listrik dan dihubungkan pada sensor medan listrik [21].

Power supply DC tegangan output yang tinggi 60 kV diusulkan dengan tegangan input 5 kV dan frekuensi 50 Hz dari gelombang sinus. Rangkaian Multiplier Cockroft-Walton digunakan ketika magnitude output tegangan DC tinggi dibutuhkan tanpa pengisian level tegangan trafo. Hasil pengujian power suplai DC mudah dikendalikan, biaya rendah, dan keandalan yang tinggi. Berbeda dengan magnitude dari tegangan DC yang tinggi dapat dialihkan tanpa pengisian tegangan input [22]. Multiplier rectenna diterapkan dengan penyearah multiplier dan antena digunakan untuk konversi AC ke DC. Rectenna konvensional mempunyai efisiensi konversi yang rendah. RF dalam sistem penyimpanan energi pada tegangan output dan arus dari optimalisasi efisiensi penyearah dirancang. Perancangan terdiri dari rangkaian tegangan multiplier tujuh tingkat. Sistem disimulasikan pada ADS dan Matlab dengan rentang daya input 10μW sampai 100 mW. Daya output maksimum diperoleh 0,2577 mW dan efisiensi maksimum 29,85% [23]. Variasi rangkaian multiplier Cockroft-Walton dirancang untuk mengahasilkan tegangan dan arus dalam menggerakkan dynode detector cahaya. Hasil perancangan sistem menghasilkan suplai arus sebesar 15 mA dengan tegangan output 1000 Vdc [24]. Penyerah Cockroft-Walton (CW) telah diusulkan untuk mendapatkan tegangan output sinus 85 kV [25][26][27]. Kemudian CW diterapkan untuk converter step-up renewable energy. Rangkaian cascade membatasi tegangan dalam konverter walaupun penguatan tinggi. Penerapan simulasi converter mendapatkan daya output 450 W [28].

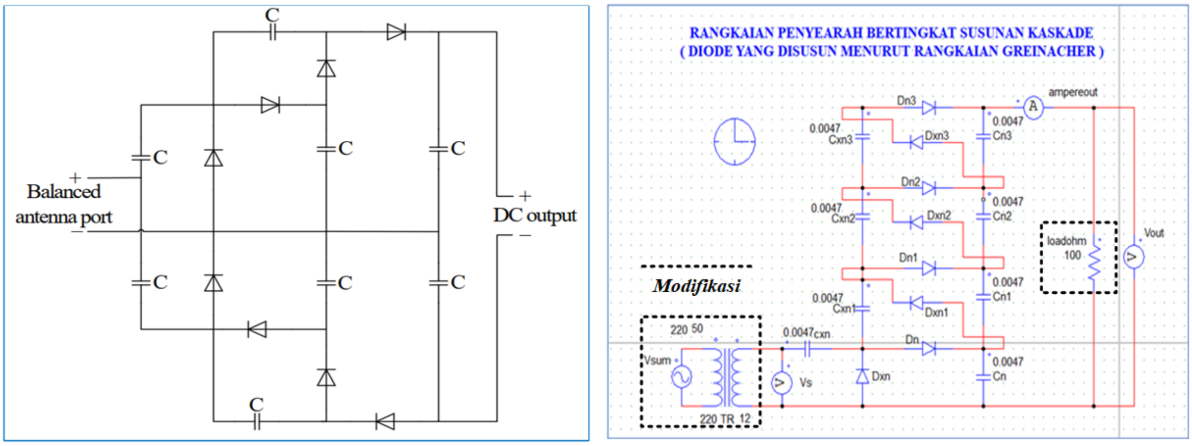
Penaik tegangan sudah digunakan di beberapa aplikasi untuk menghasilkan output tegangan DC [1][7][8], efisiensi [2][23], penyetabil beban [3][4][5] dan daya output. Namun, penaik tegangan menggunakan metode Cockroft-Walton memiliki ripple output tegangan dan drop tegangan yang besar [29]. Penyearah setengah gelombang dan gelombang penuh hanya mampu menghasilkan tegangan output DC dan tidak mencapai nilai tegangan maksimum. Selain itu, resistansi beban setiap saturasi daya input berbeda serta frekuensi tinggi membutukan penambahan rangkaian capacitor [30]. Oleh sebab itu, penyearah Greinacher Doubler Circuit (GDC) diusulkan dengan modifikasi rangkaian diode dan capacitor yang tersusun sembilan tingkat secara paralel. Modifikasi rangkaian digunakan sebagai penyearah tegangan output DC untuk mengurangi ripple output tegangan. Kemudian modifikasi

Journal Homepage E-ISSN: XXX-XXX
https://jurnal.sekawansiji.org/index.php/jef/index
JEF: Juornal Electric Field
Vol. 1 No. 1 2024 HAL: 1-9
CV. SEKAWAN SIJI DOI: http://dx.doi.org/XXX/

rangkaian diujicoba dengan simulasi pada software PSIM dan tegangan input yang bervariasi. Pengujian simulasi menggunakan sumber tegangan 220 volt, frekuensi 50 Hz, dan spesifikasi komponen transformator 1 fasa step down 220 to 12 volt, 8 buah diode (DXN, DN/DXN1, DN1/DXN2, DN2/DXN3, DN3), 8 buah kapasitor dengan nilai 4700Uf (CXN, CN/CXN1, CN1/CXN2, CN2/CXN3, CN2), dan resistor 100 Ω.

2. METODE

Metode rangkaian peningkat tegangan menggunakan prinsip rangkaian Greinacher Voltage Doubler yang dijelaskan pada gambar 1. Rangkaian Greinacher Voltage Doubler mengacu pada desain Andrej Galoi´c, dimana sumber input balanced port antena, 8 capacitor, 8 diode, dan tegangan output dc. Kemudian, modifikasi desain menggunakan sumber input transformer 1 fasa 220 to 12 Vdc, frekuensi 50 Hz, 8 capacitor (0.0047), 8 diode, 1 resistor 100 Ω. Selanjutnya simulasi menggunakan software PSIM dengan waktu yang bervariasi untuk melihat kenaikan tegangan output hasil rangkaian cascade dari 80 mikro detik sampai 1 detik serta membandingkan antara nilai tegangan input dengan tegangan output.



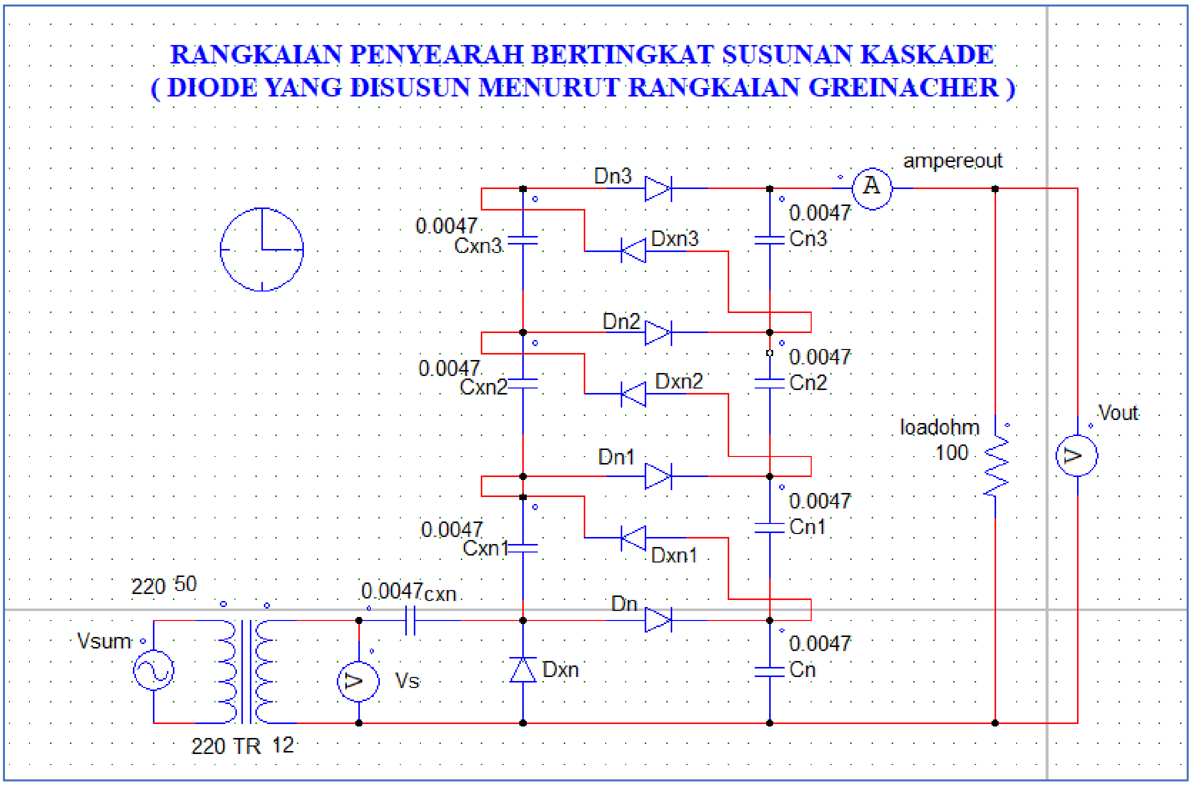
Desain Andrej Galoic, 2017 Modifikasi Cascade Greinacher

Gambar 1. Modifikasi Desain *Cascade Greinacher*

3. HASIL

Hasil rangkaian simulasi dijelaskan pada gambar 2. Rangkaian menggunakan sumber transformer 220 Vac to 12 Vdc dan hasil pengujian simulasi ditampilkan pada tabel 1. Berdasarkan percobaan 1 sampai percobaan 5 menunjukkan bahwa tegangan input konstan 220 Vac, arus output bervariasi 0.35-0.55 A, tegangan output mengalami peningkatan yaitu 11.45-11.49 V, dan waktu yang diperoleh untuk mencapai tegangan mendekati 12 volts bervariasi 0.93-0.98 detik.

Journal Homepage E-ISSN: XXX-XXX
https://jurnal.sekawansiji.org/index.php/jef/index
JEF: Juornal Electric Field
Vol. 1 No. 1 2024 HAL: 1-9
CV. SEKAWAN SIJI DOI: http://dx.doi.org/XXX/



Gambar 2. Rangkaian Simulasi *Cascade Greinacher* Menggunakan PSIM

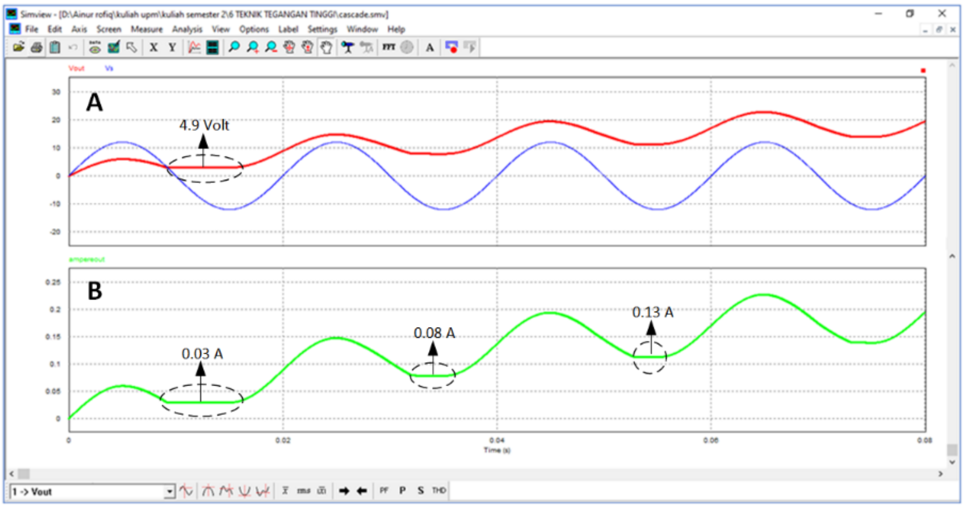
No	Simulasi	Vin (V)	Iout (A)	Vout (V)	Waktu (s)
1	Percobaan 1	220	0.35	11.45	0.93
2	Percobaan 2	220	0.40	11.46	0.94
3	Percobaan 3	220	0.45	11.47	0.95
4	Percobaan 4	220	0.50	11.48	0.96
5	Percobaan 5	220	0.55	11.49	0.98

4. PEMBAHASAN

Percobaan 1 hingga percobaan 5 menggunakan beberapa alat ukur yang dipasang untuk mengamati perbandingan besaran tegangan dan arus dari rangkaian cascade pada gambar 3 (A, B). Voltmeter untuk mengamati tegangan input 12 volts dan Amperout untuk mengamati arus output dari rangkaian cascade. Respon Vs menghasilkan tegangan output 11.49 volts gelombang sinusoidal dengan rentang waktu 0.08 detik, sedangkan tagangan output Vout mengalami peningkatan dari 9 Vdc hingga mencapai 20 Vdc dengan waktu 0.08 detik. Namun, pada waktu 0.001 detik mengalami tegangan output konstan sebesar 4.9 volts, dan arus 0.03 A. Sedangkan pada waktu 0.0035 detik mengalami arus yang tetap sebesar 0.08 A dan waktu 0.0054 detik dengan arus 0.013 A. Hal ini disebabkan oleh pengaruh energi yang tersimpan pada capacitor sebelum kondisi pelepasan energi (discharge) dan diode mengalami kondisi forward reverse, sehingga tegangan dan arus mengalami nilai yang tetap. Selain itu, pada kondisi pengisian energi (charge) capacitor, arus dan tegangan tidak menunjukkan nilai yang konstan karena diode dalam kondisi forward bias sehingga tegangan tetap mengalir pada

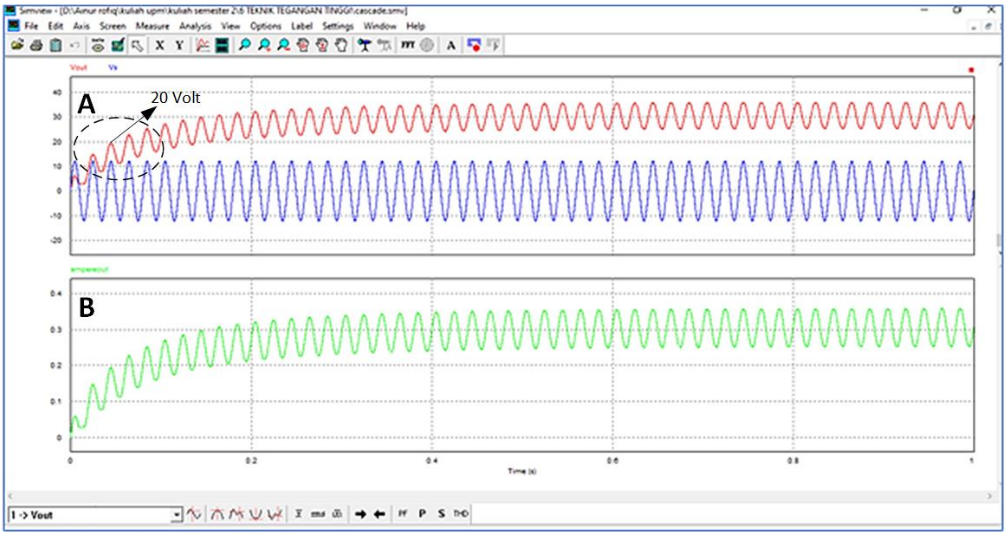
Journal Homepage E-ISSN: XXX-XXX
https://jurnal.sekawansiji.org/index.php/jef/index
JEF: Juornal Electric Field
Vol. 1 No. 1 2024 HAL: 1-9
CV. SEKAWAN SIJI DOI: http://dx.doi.org/XXX/

sisi dua komponen tersebut. Hasil simulasi ini terlihat peningkatan nilai tegangan output sampai pada periode 1 detik dan nilai arus pun juga naik. Hasil Gelombang simulasi pada periode 1 detik dan didapatkan hasil pengukuran pada alat ukur di waktu 0.98 detik yaitu sebesar Vs 11,94 volts mendekati 12 v, dan vout 35.7 volts mendekati 36 v, arus output 0.357 A.



Gambar 3. Hasil Simulasi Tegangan Vs dan Vout (A), dan Arus (B) Metode *Greinacher*

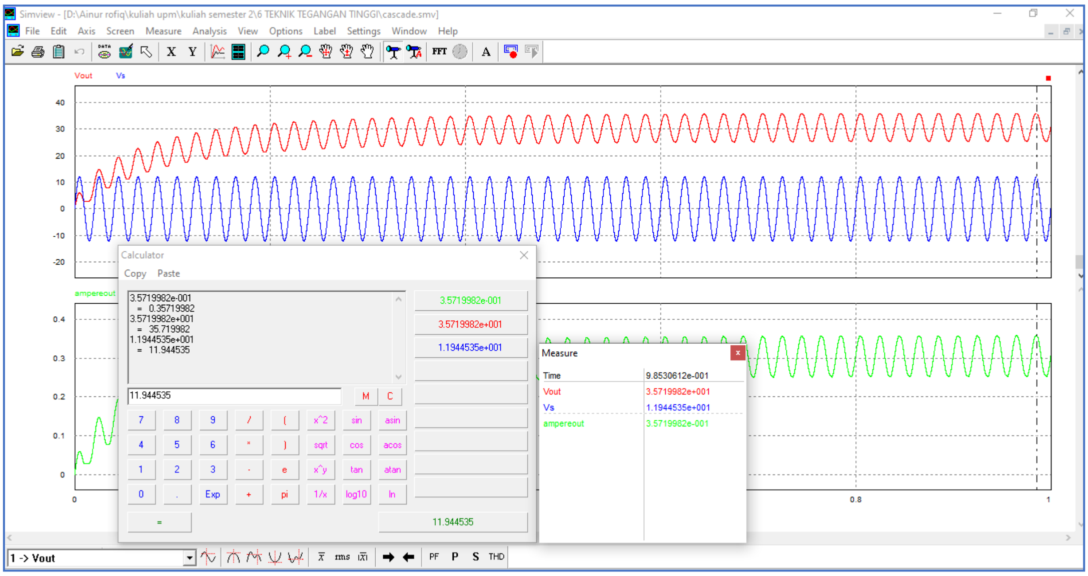
Gambar 4 (A) merupakan hasil simulasi dengan periode waktu 1 detik dengan tegangan Vout meningkat sebesar 20 volts. Peningkatan tegangan output Vout konstan sebesar 35.9 volts hingga mencapai waktu 1 dektik, sedangkan tegangan Vs mengalami konstan sebesar 11.59 volts. Selain itu, gambar 4 (B) merupakan arus yang mengalami peningkatan dari 0.005-0.035 A. Peningkatan tegangan dan arus yang konstan dipengaruhi oleh rangkaian yang disusun secara cascade dengan penambahan jumlah capacitor, diode dan resistor pada output. Semakin besar nilai capacitor, diode dan resistor, maka tegangan dan arus yang dihasilkan juga meningkat seiring waktu yang ditentukan.



Gambar 4. Hasil Simulasi Tegangan Vs dan Vout (A), dan Arus (B) Metode *Greinacher*

JEF Journal Electric Field
Journal Homepage E-ISSN: XXX-XXX
https://jurnal.sekawansiji.org/index.php/jef/index
JEF: Juornal Electric Field
Vol. 1 No. 1 2024 HAL: 1-9
CV. SEKAWAN SIJI DOI: http://dx.doi.org/XXX/

Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan besaran tegangan searah (DC) dengan mengguunakan rangkaian penyearah yang bertingkat seperti pada gambar rangkaian *cascade* 2. Rangkaian ini disebut rangkaian Cockroft dan Walton, di tingkat pertama rangkaian ini bentuknya sama besar dengan rangkaian Greinacher dan untuk mendapatkan tegangan searah yang tinggi maka rangkaian Greinacher ini disusun secara *cascade* (bertingkat). Dari hasil simulasi rangkaian yang menerapkan tiga tingkat didapatkan hasil tegangan *output* dari rangkaian yang besarnya 3 kali dari tegangan *input* yaitu sebesar 36 Volt dari tegangan input 12 Volt.



Gambar 5. Hasil Perbandingan Tegangan Pada Simulasi PSIM

5. KESIMPULAN

Desain dan simulasi rangkaian Greinacher Doubler Circuit (GDC) mempengaruhi peningkatan tegangan dan arus output. Hal ini ditunjukkan pada hasil simulasi yang menghasilkan tegangan lebih besar 3 kali dari tegangan input yaitu sebesar 35.7 V dan arus 0.98 A. Walaupun pada waktu 0.001 detik dan 0.0035 detik dan waktu 0.0054 detik mengalami tegangan serta arus output yang konstan masing-masing sebesar 4.9 volts, arus 0.03 A, arus 0.08 A dan arus 0.013 A. Tegangan output Vout, Vs dan arus tetap meningkat pada waktu mencapai 1 detik.

REFERENSI

[1] J. F. Dickson, "Circuits Using an Improved Voltage," *Design*, no. 3, pp. 374–378, 1976.

[2] Y. H. Chang and Y. M. Lu, "A simple Greinacher-doubler-based switched-coupled-inductor boost DC-AC inverter," in *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2019, vol. 1, pp. 279–284.

[3] H. K. Putra, S. Handoko, and I. Setiawan, "Perancangan Sistem Penaik Level Tegangan Pada Sistem Photovoltaic Stand – Alone Menggunakan Quadratic Boost Converter Dengan Metode Proportional – Integral Berbasis Mikrokontroller Dspic," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 3, pp. 327–333, 2020, doi: 10.14710/transient.v9i3.327-333.

[4] H. Jahangiri and A. Ajami, "Coupled Inductor Based on Quadratic Converters," in *9th*

Journal Homepage E-ISSN: XXX-XXX
https://jurnal.sekawansiji.org/index.php/jef/index
JEF: Juornal Electric Field
Vol. 1 No. 1
2024
HAL: 1-9
CV. SEKAWAN SIJI DOI: http://dx.doi.org/XXX/

Annual Power Electronics, Drives Systems and Technologies Conference (PEDSTC), 2018, pp. 20–25.

[5] K. Patidar and A. C. Umarikar, “High Step-Up Converters Based on Quadratic Boost Converter For Micro-Inverter,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 119, no. 1, pp. 168–177, 2015, doi: 10.1016/j.epsr.2014.09.018.

[6] N. S. B. Ginting, A. Syakur, and A. Nugroho, “Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi DC dengan Metode Cockcroft-Walton Tipe Fullwave,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 442–448, 2018.

[7] Y. Suresh, J. Venkataramanaiah, A. K. Panda, C. Dhanamjayulu, and P. Venugopal, “Investigation on Cascade Multilevel Inverter with Symmetric, Asymmetric, Hybrid and Multi-cell Configurations,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 263–276, 2017, doi: 10.1016/j.asej.2016.09.006.

[8] P. A. Haddad, G. Gosset, J. P. Raskin, and D. Flandre, “Automated Design of a 13.56 MHz 19µ Passive Rectifier with 72% Efficiency Under µ Load,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 51, no. 5, pp. 1290–1301, 2016, doi: 10.1109/JSSC.2016.2527714.

[9] T. Kartiko Dirgantoro, H. Khoswanto, H. Ferdinando, A. Jurusan, T. Elektro, and K. Petra -Surabaya, “Studi Tentang Penguat Cascade Dua Tingkat Menggunakan JFET [Tjahjo Kartiko Dirgantoro, et al.] Studi Tentang Penguat Cascade Dua Tingkat Menggunakan JFET,” *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 121–131, 2007.

[10] R. Adiyat, “Konstruksi Diagram Ladder dengan Metoda Cascade untuk Seleksi dan Perakitan Part pada Plant ‘ Dual Conveyor ’ Merk Feedback Konstruksi Diagram Ladder dengan Metoda Cascade untuk Seleksi dan Perakitan Part pada Plant ‘ Dual Conveyor ’ Merk Feedback,” 2017.

[11] B. Herdiana, H. Wijanto, and I. Hidayat, “Rangkaian Penyearah RF ke DC Bertingkat untuk Multi Frekuensi Kerja pada Sistem Pengisian Listrik Secara Nirkabel,” *J. Elektron. dan Telekomun.*, vol. 14, no. 2, p. 40, 2016, doi: 10.14203/jet.v14.40-44.

[12] T. R. Ansari, A. Khan, and I. Ansari, “Wireless Charging of Mobile Battery via Optimization of RF Energy Harvesting System,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 6, no. 7, pp. 942–949, 2015, doi: 10.14299/ijser.2015.07.001.

[13] A. Galoic, B. Ivsic, and D. Bonefaci, “Rectifier for Energy Harvesting Application,” in *Proceedings Elmar - International Symposium Electronics in Marine*, 2017, vol. September, no. December, pp. 137–140. doi: 10.23919/ELMAR.2017.8124453.

[14] D. H. Chuc and B. G. Duong, “Investigation of Rectifier Circuit Configurations for Microwave Power Transmission System Operating at S Band,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 5, no. 5, pp. 967–974, 2015, doi: 10.11591/ijece.v5i5.pp967-974.

[15] A. A. A. Hafez and A. M. Yousef, “Multi-Pulse Diode Rectifier for More-Electric Aircraft Applications: Parallel versus Series Topologies,” *Iraqi J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 138–144, 2017, doi: 10.33762/eeej.2017.128795.

[16] M. S. Djebbar, Y. Soufi, and H. Benalla, “Cascade Rectifiers and Multi Levels Applied to the Improvement of the Quality of Electric Energy,” in *2013 8th International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2013*, 2013, no. March, pp. 1–8. doi: 10.1109/EVER.2013.6521565.

[17] D. Shehova and S. Lyubomirov, “Computer Modeling and Research of Diode Rectifiers and Voltage Regulators,” in *15th International Technology, Education and Development Conference*, 2021, vol. 1, no. 9, pp. 8754–8759. doi: 10.21125/inted.2021.1824.

[18] S. Park, J. Yang, and J. Rivas-Davila, “A Hybrid Cockcroft-Walton/Dickson Multiplier

for High Voltage Generation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 3, pp. 2714–2723, 2020, doi: 10.1109/TPEL.2019.2929167.

[19] T. Langdon, "Very Low Power Cockcroft-Walton Voltage Multiplier for RF Energy Harvesting Applications," University of Arkansas, Fayetteville, 2019.

[20] A. Jaiwanglok, K. Eguchi, K. Smerpitak, and A. Julsereewong, "Modification of Cockcroft–Walton-Based High-Voltage Multipliers with 220 V and 50 Hz Input for Non-Thermal Food Processing Apparatus," *Sustain.*, vol. 12, no. 16, 2020, doi: 10.3390/SU12166330.

[21] D. H. Al-Mamoori, O. M. Neda, Z. H. Al-Tameemi, A. A. Alobaidi, and M. Aljanabi, "Generating High Voltage DC with Cockcroft-Walton Voltage Multiplier for Testing Locally Assemble Electric Field Sensor," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 518, no. 4, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/518/4/042019.

[22] C. K. Dwivedi and M. B. Daigvane, "Multi-purpose Low Cost DC High Voltage Generator (60 kV output), Using Cockcroft-Walton Voltage Multiplier Circuit," *Proc. - 3rd Int. Conf. Emerg. Trends Eng. Technol. ICETET 2010*, no. December 2010, pp. 241–246, 2010, doi: 10.1109/ICETET.2010.150.

[23] E. M. Ali *et al.*, "Power Conversion Using Analytical Model of Cockcroft–Walton Voltage Multiplier Rectenna," *Electron.*, vol. 10, no. 8, pp. 1–16, 2021, doi: 10.3390/electronics10080881.

[24] D. F. Spencer, R. Aryaeinejad, and E. L. Reber, "Using the Cockcroft-Walton Voltage Multiplier Design in Handheld Devices," *IEEE Nucl. Sci. Symp. Med. Imaging Conf.*, vol. 2, no. 1, pp. 746–749, 2001, doi: 10.1109/nssmic.2001.1009666.

[25] Z. Cao, M. Hu, N. Fröhleke, and J. Böcker, "Modeling and Control Design for a Very Low-Frequency High-Voltage Test System," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 4, pp. 1068–1077, 2010, doi: 10.1109/TPEL.2009.2033600.

[26] J. D. Cockcroft and E. T. Walton, "A Three-Stage Full-Wave CW Multiplier," England, 1951. [Online]. Available: https://circuitcellar.com

[27] S. C. Brown, "Nuclear Physics," England, 1949. doi: 10.5005/jp/books/12310_16.

[28] L. Muller and J. W. Kimball, "Dual-Input High Gain DC-DC Converter Based on the Cockcroft-Walton Multiplier," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 9, pp. 6405–6415, 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2505678.

[29] M. Ruzbehani, "A Comparative Study of Symmetrical Cockcroft-Walton Voltage Multipliers," *J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/4805268.

[30] J. Park, Y. Kim, Y. J. Yoon, J. So, and J. Shin, "Rectifier Design Using Distributed Greinacher Voltage Multiplier for High Frequency Wireless Power Transmission," *J. Electromagn. Eng. Sci.*, vol. 14, no. 1, pp. 25–30, 2014, doi: 10.5515/jkiees.2014.14.1.25.